

## N O T I C E

THIS DOCUMENT HAS BEEN REPRODUCED FROM  
MICROFICHE. ALTHOUGH IT IS RECOGNIZED THAT  
CERTAIN PORTIONS ARE ILLEGIBLE, IT IS BEING RELEASED  
IN THE INTEREST OF MAKING AVAILABLE AS MUCH  
INFORMATION AS POSSIBLE

E82-10081

CR-168402



SECRETARIA DE PLANEJAMENTO DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO

(E82-10081) AN ALGORITHM FOR SPATIAL  
HIERARCHY CLUSTERING (Instituto de Pesquisas  
Espaciais, Sao Jose) 12 p HC A02/MF A01

N82-20604

CSCI 05B

Unclass

G3/43 00081

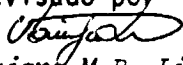

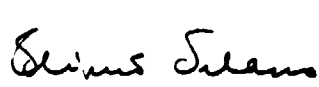
any and wide dis-  
semination of Earth Resources Survey  
Program information and without liability  
for any use made thereof."



RECEIVED BY  
NASA STI FACILITY  
DATE: SEP 15 1981  
DCAF NO. 002949  
PROCESSED BY  
☒ NASA STI FACILITY  
☐ ESA - SDS ☐ AIAA



INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

1. Classificação INPE-COM.4/RPE C.D.U.: 519.688		2. Período	4. Distribuição  interna <input type="checkbox"/>  externa <input checked="" type="checkbox"/>
3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor) AGREGAÇÃO COMPRESSÃO DE DADOS PRÉ-PROCESSAMENTO DE IMAGENS			
5. Relatório nº INPE-2170-RPE/386	6. Data Julho, 1981	7. Revisado por  Ubirajara M.B. Lima	
8. Título e Sub-Título  UM ALGORITMO PARA AGREGAÇÃO HIERÁRQUICA ESPACIAL		9. Autorizado por  Nelson de Jesus Parada Diretor	
10. Setor DSE/DIN	Código 2704	11. Nº de cópias 08	
12. Autoria Flávio Roberto Dias Velasco		14. Nº de páginas 11	
13. Assinatura Responsável 		15. Preço	
16. Sumário/Notas  Em imagens como as obtidas com satélites, existe uma alta correlação entre pontos próximos da imagem. Além disto, em imagens multiespectrais os valores de seus pontos tendem a ocupar regiões densas e restritas do espaço de características. Os algoritmos usuais de classificação não-supervisionada (agregação) utilizam, em geral, só o segundo tipo de redundância (espectral), mas não o primeiro (redundância espacial). Neste trabalho apresenta-se um método de pré-classificação e compactação, que divide a imagem em janelas iguais, onde é feita a agregação. As classes obtidas são usadas numa nova agregação, reunindo várias janelas vizinhas e, assim, sucessivamente, até que se tenha uma única região correspondente à imagem toda. Deste modo, usam-se, ao mesmo tempo, os dois tipos de informação (espectral e espacial), e se reduz o esforço computacional, por se considerar em cada agregação apenas um pequeno número de pontos. O método é ilustrado com aplicações em imagens obtidas pelo satélite LANDSAT.			
17. Observações			

## INDICE

ABSTRACT .....	<i>iv</i>
1. <u>INTRODUÇÃO</u> .....	1
2. <u>DESCRIÇÃO DO MÉTODO</u> .....	3
3. <u>DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS</u> .....	5
4. <u>CONCLUSÕES</u> .....	6
REFERÊNCIAS .....	8

## ABSTRACT

*In images as those obtained by satellites, there is a high correlation between neighbor image points. Besides that, in multispectral images the values of the points tend to occupy dense and restricted regions of the feature space. Usually, algorithms for nonsupervised classification (clustering) utilize, in general, just the second type of redundancy (spectral) but not the first (spatial redundancy). In this work a method for compacting and pre-classifying images is presented, which divides the image into windows of the same size, where the clustering is made. The classes that are obtained in several neighbor windows are clustered and then, successively, until only one region, corresponding to the whole image, is obtained. In this way, the two types of information (spatial and spectral) are used, and also the computational effort is reduced as in each clustering only a few number of points is considered. The method is illustrated with applications to images obtained by the LANDSAT satellite.*

## 1. INTRODUÇÃO

Em imagens naturais multiespectrais e, em particular, em imagens obtidas de satélites, existem, além da redundância espectral, dois outros tipos de redundância: pontos vizinhos da imagem são correlacionados, e valores dos pontos da imagem nos diversos canais não ocupam todos os valores possíveis do espaço de características mas, ao contrário, tendem a se concentrar em regiões restritas e compactas.

Todos estes tipos de redundância têm sido observados por pesquisadores que os usam para representar as imagens de uma forma mais compacta e, assim, economizar em armazenagem e transmissão, ou mesmo ressaltar características das imagens que de outra forma permaneceriam obscuras.

Um método de representação de imagens tem sua efetividade, medida não só pela compactação conseguida, mas também pela fidelidade da representação. Esta última depende do propósito da representação — para processamento humano ou por máquina. Uma medida não-subjetiva da fidelidade é o erro médio quadrático entre a imagem original e a imagem reconstruída a partir da representação. Este critério tem a seu favor o fato de ser simples e matematicamente tratável, embora nem sempre a imagem mais fiel — segundo padrões subjetivos — seja a de menor erro médio quadrático.

A técnica das componentes principais, obtidas a partir da transformação de Karhunen-Loève, tem sido usada para produzir imagens realçadas aproveitando-se a redundância espectral das imagens (Câmara et alii, 1980). Mostra-se que a transformação de Karhunen-Loève é a que dá o menor erro médio quadrático entre as transformações ortonormais.

A transformação de Karhunen-Loève pode ser usada também para explorar a redundância espacial. Basta que se considere uma imagem  $n \times m$  como um vetor de  $nm$  componentes (Duda e Hart, 1973). A desvantagem é que se obtém, em geral, um número excessivo de componentes para um processamento eficiente.

Encontram-se na literatura algumas tentativas de incorporar a informação espacial em classificadores de imagens (Landgrebe, 1978; Dutra, 1981). Também em certos códigos para compactação, tais como o "run length encoding" ou o DPCM ("differential pulse code modulation"), a codificação baseia-se na correlação existente entre pontos vizinhos da imagem.

Uma imagem multiespectral obtida pelo satélite LANDSAT tem quatro dimensões (canais). Em cada dimensão um dado ponto pode assumir 256 valores (0 a 255). Neste caso, têm-se  $(256)^4 = 2^{32}$  valores diferentes que podem ser assumidos por pontos da imagem. Tipicamente, uma imagem LANDSAT com cerca de  $6 \times 10^6$  pontos ("pixels") ocupa menos que  $10^4$  valores distintos do espaço de características (Shlien, 1975). Mesmo estes  $10^4$  pontos estão densamente agrupados em regiões restritas do espaço. Isto indica que se pode representar uma imagem LANDSAT por um número pequeno de vetores do espaço de características, incorrendo-se num pequeno erro médio quadrático. Alguns pesquisadores, notadamente Lowitz (1978), procuram usar esta forma de compactação para diminuir as taxas de transmissão (bits/segundo) necessárias para o envio, em tempo real, de imagens de satélites para as estações terrenas. De fato, se a imagem for dividida em blocos ("janelas") de igual tamanho (por exemplo,  $16 \times 16$ ) e se os pontos deste bloco foram rotulados em 8 classes, pode-se enviar, em vez dos valores de cada ponto, a classe a que o ponto pertence. Para reconstrução da imagem, é necessário enviar, após cada bloco, vetores representativos para cada uma das oito classes. Numa imagem com quatro canais, obtém-se uma taxa de compressão superior a 9 e, segundo Lowitz (1978), com um erro de reconstrução abaixo de 1% (erro médio quadrático).

É óbvio que, no esquema descrito acima, a classificação das janelas deverá ser não-supervisionada, ou seja, uma aglomeração ("clustering") dos pontos. Além disto, ela terá de ser feita em pequenas janelas, não somente devido ao custo computacional de classificação da imagem inteira, como também porque necessitar-se-ia de um número maior de classes para representar áreas maiores da imagem. Isto faria com que a taxa de compressão caísse.

Neste trabalho propõe-se um método para classificar, sem supervisão, imagens LANDSAT em um número relativamente pequeno de classes, no qual procura-se levar em conta a informação espacial das imagens. A imagem classificada e, portanto, compactada pode servir tanto para ser armazenada (ou transmitida), como para ser usada para fins de classificação supervisionada. Prevê-se que, neste último caso, as tarefas — tanto do operador quanto do classificador — estejam grandemente facilitadas, uma vez que a imagem estará pré-classificada.

## 2. DESCRIÇÃO DO MÉTODO

O método (ou algoritmo) que se propõe procura representar imagens LANDSAT através de um número pequeno de vetores, associados às classes nas quais a imagem é dividida. Difere do método de Lowitz (1978) pelo fato de estes vetores representarem toda a imagem, e não uma janela da mesma.

Ao invés de classificar diretamente toda a imagem, o que é inviável, procura-se classificar a imagem em vários níveis. Inicialmente a imagem é dividida em janelas de mesmo tamanho, (tal como em Lowitz, 1978) que são classificadas sem supervisão. Num segundo nível, várias janelas vizinhas são reunidas e é feita a classificação, utilizando-se os resultados provenientes da classificação do primeiro nível. Este processo — no qual se aglomeram várias classes de um nível, referentes a janelas contíguas, obtendo-se classes de um nível mais alto e uma única janela — é repetido até se obter uma janela que corresponde à imagem inteira. Por exemplo, numa imagem 512 x 512 podem-se usar três níveis do seguinte modo:

nível 1: janelas quadradas 16 x 16, cujos pontos são classificados em 8 classes;

nível 2: janelas retangulares contendo 4 x 8 janelas do nível 1, cujas classes são aglomeradas em 16 novas classes;



nível 3: janela que corresponde a toda imagem (8x4 janelas do nível 2), onde a aglomeração é feita sobre 512 pontos (classes obtidas no nível 2), resultando em novas 32 classes.

O número de classes resultantes em cada aglomeração varia de nível para nível, sendo menor nos níveis inferiores e maior nos superiores, uma vez que nestes níveis as janelas abrangem regiões maiores.

Nada impede que se use, nos vários níveis, o mesmo algoritmo de aglomeração. No caso da imagem 512x512 dividida em três níveis, o algoritmo seria usado 1057 ( $1024 + 32 + 1$ ) vezes.

O fato de usar vários níveis reduz o custo computacional quando comparado com o procedimento direto, que seria aglomerar num único nível toda a imagem. Não é este, contudo, o único mérito de fazer a aglomeração, hierarquicamente, em vários níveis. Uma vez que dois pontos distintos de uma mesma janela e, portanto, próximos, são classificados numa única classe, nos níveis seguintes esses pontos continuarão pertencentes à mesma classe. Em outras palavras, dois pontos tenderão a pertencer à mesma classe se estiverem espectral ou espacialmente próximos.

Para ter uma idéia do custo computacional do método, é necessário definir qual o algoritmo de aglomeração usado. Um dos mais simples é o algoritmo das "k médias" (Mac Queen, 1967) o qual, dados n pontos, os divide em k classes. Pode-se mostrar que o algoritmo das k médias converge para um mínimo local do erro médio quadrático. Considerando-se que o número de classes resultantes da aglomeração dobra a cada nível, a relação entre os tempos de execução da classificação de toda imagem e o da classificação hierárquica é da ordem de  $2^{n-1}$ , onde n é o número de níveis usados. Em ambos os casos, o tempo de execução cresce linearmente com o número de pontos da imagem. Vale notar também que a classificação da imagem inteira incorre num custo computacional extra, devido à necessidade de percorrer várias vezes a imagem inteira (tantas vezes quanto o número de interações necessárias no algoritmo das k médias).

### 3. DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS

O método descrito na seção 2 foi testado numa imagem LANDSAT 512x512, a qual contém a Baía da Guanabara e arredores. A imagem utilizada se caracteriza por uma grande variedade de texturas e de níveis de cinza. A imagem foi dividida em três níveis, conforme exemplo da seção anterior. O algoritmo usado na aglomeração foi o das k médias.

Para calcular o erro médio quadrático da representação, a imagem foi reconstruída, colocando-se em cada ponto a média da classe a que o ponto pertence. Uma comparação visual entre a imagem original e a reconstituída mostra pequenas diferenças: a imagem reconstituída é mais homogênea, e num e noutro ponto pode-se notar um "efeito de borda" nos limites das janelas do 1º nível.

Foram feitos vários experimentos com a finalidade de verificar a influência do número de classes do primeiro nível, bem como a do número de iterações do algoritmo de aglomeração no erro médio quadrático relativo (razão entre o erro médio quadrático e a variância da imagem). Os resultados dos experimentos estão sumariados na Tabela 1, onde se fez variar tanto o número de classes do 1º nível quanto o número de iterações, mantendo constante o número de classes do segundo nível (16).

TABELA 1

ERRO MÉDIO QUADRÁTICO RELATIVO E PERCENTUAL  
PARA OS NÍVEIS 1 E 2, ONDE SE VARIA O NÚMERO DE CLASSES  
E DE ITERAÇÕES NO NÍVEL 1

		NÍ- VEL	NÚMERO DE CLASSES DO NÍVEL 1				
			8	10	12	14	16
NÚMERO DE ITERAÇÕES	1	1	3,5	2,5	2,1	1,8	1,6
		2	4,8	3,9	3,6	3,3	3,2
	2	1	2,7	2,0	1,7	1,4	1,3
		2	4,1	3,4	3,2	3,0	2,0
	3	1	2,5	1,9	1,5	1,3	1,1
		2	4,0	3,3	3,1	2,8	2,8

Com 8, 16 e 32 classes no 1º, 2º e 3º níveis, e com 2, 4 e 8 aglomerações nos 1º, 2º e 3º níveis, respectivamente, obteve-se um erro médio quadrático relativo à imagem inteira de 6,9%.

Quanto à taxa de compressão, esta foi ligeiramente superior a 6 para a imagem considerada.

#### 4. CONCLUSÕES

Neste trabalho apresentou-se um método para classificação não-supervisionada de imagens multiespectrais. O método foi ilustrado através de sua aplicação a uma imagem LANDSAT 512 x 512.

Embora a aparência visual da imagem reconstruída seja próxima da original, o erro percentual obtido (6,9%) é bastante superior ao relatado em outros trabalhos, que é da ordem de 1% (Lowitz, 1978). É verdade que nestes trabalhos só se usou um único nível de aglomeração e que, neste caso, como pode ser visto na Tabela 1, os erros são comparáveis.

Quanto à implementação, o método proposto se presta a uma execução paralela, uma vez que aglomerações de um mesmo nível são independentes. Uma implementação em "hardware" também seria facilitada, caso se explore o paralelismo, pelo fato de haver possibilidade de usar o mesmo algoritmo em todas as aglomerações e em todos os níveis. A arquitetura mais adequada seria a de um "array" de processadores, todos executando o mesmo algoritmo.

Embora seja utilizável para compactação, o algoritmo presta-se mais para um primeiro passo de um sistema de classificação de grandes áreas. Podem-se imaginar algoritmos de classificação supervisionada extremamente rápidos, que trabalhariam na imagem compactada. Pode-se conjecturar, também, que a precisão de classificação deste sistema seria maior que a precisão de classificadores ponto a ponto, uma vez que a informação espacial foi considerada no passo de pré-classificação.

## REFERÊNCIAS

- CÂMARA NETO, G.; ARAUJO, E.O.; MASCARENHAS, N.D.A.; SOUZA, R.C.M. *Realce visual de imagens de recursos naturais: aplicações em Geologia*. São José dos Campos, INPE, dez. 1980. (INPE-1952-RPE/267)
- DUDA, R.O.; HART, P. *Pattern classification and scene analysis*. New York, John Wiley, 1973
- DUTRA, L.V. *Extração de atributos espaciais em imagens digitais*. Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada. São José dos Campos, INPE. No prelo.
- LANDGREBE, D.A. *The development of a spectral/spatial classifier for earth observational data*. In: IEEE COMPUTER SOCIETY CONFERENCE ON PATTERN RECOGNITION AND IMAGE PROCESSING, Chicago, 1978. Proceedings. Long Beach, IEEE, c1978, p. 470-475.
- LOWITZ, G.E. *Compression des données images par reconnaissance des formes et clustering*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EARTH OBSERVATION FROM SPACE AND MANAGEMENT OF PLANETARY RESOURCES, Toulouse, 1978. Proceedings. Noordwijk, The Netherlands, ESTEC, 1978. p. 243-250.
- MAC QUEEN, J. *Some methods for classification and analysis of multi-variate data*. In: BERKELEY SYMPOSIUM ON PROBABILITY AND STATISTICS, 5a, Berkeley, 1965. Proceedings. Berkeley, University of California Press, 1967, p. 231-296.
- SHLIEN, S. *Practical aspects related to automated classification of LANDSAT imagery using look-up tables*. Ottawa, Canada Center for Remote Sensing, 1975. (Technical Report 75)